

ОЦІНКА ВІДПОВІДНОСТІ ПРОДУКТІВ ГАЗИФІКАЦІЇ СТРАТЕГІЧНИМ ЗАВДАННЯМ ДОСЯГНЕННЯ ЦИРКУЛЯРНОЇ ЕКОНОМІКИ

©2024 КИЗИМ М. О., ХАУСТОВА В. Є., ШПІЛЄВСЬКИЙ В. В., ШПІЛЄВСЬКИЙ О. В.

УДК 334.021.1
JEL: L95; O11; Q01; Q56

Кизим М. О., Хаустова В. Є., Шпільєвський В. В., Шпільєвський О. В. Оцінка відповідності продуктів газифікації стратегічним завданням досягнення циркулярної економіки

Статтю присвячено обґрунтуванню вибору й оцінці доцільності використання нетрадиційних паливно-енергетичних матеріалів за умов забезпечення розвитку циркулярної економіки. Розглянуто об'єктивні передумови, цілі й ініціативи з розвитку циркулярної економіки. Міжнародні домовленості та плани стратегічними цілями розвитку циркулярної економіки визначають досягнення кліматичної нейтральності, підвищення ресурсоефективності й економічного зростання, які в статті використано як критерії оцінки відповідності продуктів газифікації вимогам циркулярної економіки. Запропоновано методичний підхід до вибору продуктів газифікації, що відповідають указаним критеріям. Обґрунтовано методику виміру (розрахунку) величин впливу використання продукту на довкілля та ресурсної ефективності його виробництва. Проведено відбір продуктів газифікації, що відповідають стратегічним вимогам циркулярної економіки, із застосуванням матричного методу та зваженої оцінки сукупності показників. Визначено основні економіко-екологічні ефекти, що обумовлені освоєнням газифікації твердої паливної сировини та потребують відображення в практичних обґрунтуваннях інвестиційних проєктів.

Ключові слова: циркулярна економіка, антропогенний вплив, нетрадиційні паливно-енергетичні матеріали, відновлювані ресурси, «зелений» перехід, паливна сировина, продукти газифікації, сингаз, ресурсоефективність, приведені витрати ресурсів, економіко-екологічні ефекти, інвестиційний проєкт.

Рис.: 3. Табл.: 3. Формул: 3. Бібл.: 15.

Кизим Микола Олександрович – доктор економічних наук, професор, член-кореспондент НАН України, головний науковий співробітник Науково-дослідного центру індустріальних проблем розвитку НАН України (пров. Інженерний, 1а, 2 пов., Харків, 61166, Україна)

E-mail: m.kyzym@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8948-2656>

Researcher ID: <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1859367>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57216130870>

Хаустова Вікторія Євгенівна – доктор економічних наук, професор, директор Науково-дослідного центру індустріальних проблем розвитку НАН України (пров. Інженерний, 1а, 2 пов., Харків, 61166, Україна)

E-mail: v.khaust@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5895-9287>

Researcher ID: <https://www.webofscience.com/wos/author/record/629132>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57216123094>

Шпільєвський Володимир Вікторович – кандидат економічних наук, завідувач відділу промислової політики та енергетичної безпеки, Науково-дослідний центр індустріальних проблем розвитку НАН України (пров. Інженерний, 1а, 2 пов., Харків, 61166, Україна)

E-mail: shpilevskyyv@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2003-0632>

Шпільєвський Олексій Володимирович – молодший науковий співробітник відділу макроекономічної політики та регіонального розвитку, Науково-дослідний центр індустріальних проблем розвитку НАН України (пров. Інженерний, 1а, 2 пов., Харків, 61166, Україна)

E-mail: astartes009@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6685-0372>

UDC 334.021.1
JEL: L95; O11; Q01; Q56

Kyzym M. O., Khaustova V. Ye., Shpilevskiy V. V., Shpilevskiy O. V. Assessing the Compliance of Gasification Products with the Strategic Objectives of the Achievement of Circular Economy

The article is devoted to the substantiation of the choice and assessment of the feasibility of using non-traditional fuel and energy materials in the context of ensuring the development of a circular economy. The objective prerequisites, goals and initiatives for the development of the circular economy are considered. International agreements and plans define the achievement of climate neutrality, increase in resource efficiency and economic growth as strategic goals for the development of the circular economy, which are used in the article as criteria for assessing the compliance of gasification products with the requirements of the circular economy. A methodical approach to the selection of gasification products that meet the specified criteria has been proposed. Methods of measurement (calculation) of the impact of the product on the environment and resource efficiency of its production are substantiated. A selection of gasification products that meet the strategic requirements of the circular economy is carried out using the matrix method and a weighted assessment of a set of indicators. The main economic and ecological effects are determined, which are due to the development of gasification of solid fuel raw materials and need to be reflected in the practical substantiations of investment projects.

Keywords: circular economy, anthropogenic impact, alternative fuel and energy materials, renewable resources, green transition, fuel raw materials, gasification products, syngas, resource efficiency, reduced resource costs, economic and ecological effects, investment project.

Fig.: 3. Tabl.: 3. Formulae: 3. Bibl.: 15.

Kyzym Mykola O. – D. Sc. (Economics), Professor, Corresponding Member of NAS of Ukraine, Chief Research Scientist of the Research Centre for Industrial Problems of Development of NAS of Ukraine (2 floor 1a Inzhenernyi Ln., Kharkiv, 61166, Ukraine)

E-mail: m.kyzym@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8948-2656>

Researcher ID: <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1859367>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57216130870>

Khaustova Viktoriia Ye. – D. Sc. (Economics), Professor, Director of the Research Centre for Industrial Problems of Development of NAS of Ukraine (2 floor 1a Inzhenernyi Ln., Kharkiv, 61166, Ukraine)

E-mail: v.khaust@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5895-9287>

Researcher ID: <https://www.webofscience.com/wos/author/record/629132>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57216123094>

Shpilevskiy Volodymyr V. – PhD (Economics), Head of Department of Industrial Policy and Energy Security, Research Centre for Industrial Problems of Development of NAS of Ukraine (2 floor 1a Inzhenernyi Ln., Kharkiv, 61166, Ukraine)

E-mail: shpilevskiyv@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2003-0632>

Shpilevskiy Olexii V. – Junior Researcher of the Department of Macroeconomic Policy and Regional Development, Research Centre for Industrial Problems of Development of NAS of Ukraine (2 floor 1a Inzhenernyi Ln., Kharkiv, 61166, Ukraine)

E-mail: astartes009@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6685-0372>

Глобальна тенденція прогресуючого економічного зростання визначилась в епоху індустріальних революцій (XVIII–XIX ст.). Цю тенденцію обумовлено екстенсивним використанням природних ресурсів за перманентної інтенсифікації організаційно-технологічних процесів виробництва. Суттєвим недоліком даної економічної моделі є присутність у ній незамкнених ресурсно-виробничих і продуктово-споживчих циклів (тобто функціонально лінійних елементів), що визначає виснаження легкодоступних джерел невідновлюваних природних ресурсів та накопичення в доквілі штучно трансформованих (часто шкідливих) речовин у кількості, що викликають відчутні зміни у природному середовищі.

Подальше збереження тенденції розвитку економіки, в якій домінують лінійні (незамкнені) процеси виробництва та споживання, визначає загрозу утворення некомфортного середовища існування людини, передусім прискорення глобального потепління, і згаданого виснаження легкодоступних джерел невідновлюваних ресурсів. Очікування цієї перспективи сьогодні визначило нове бачення цілей, пріоритетів і принципів подальшого економічного розвитку, яке знайшло своє відображення в наукових концепціях сталого розвитку, циркулярної економіки, «зеленого» переходу. Прикладне застосування цих концептуальних засад

сьогодні знаходить місце в політичних ініціативах і діях національних урядів і міжнародних об'єднань.

Зростання суспільної активності та міжурядові ініціативи сьогодні стали фактором практичного впровадження принципів циркулярної економіки та подальшого розвитку її наукового підґрунтя. Найбільш затребуваними сьогодні є теоретичні та методичні положення циркулярної економіки, що мають прикладне значення. У цьому аспекті можна зазначити результати досліджень таких іноземних і вітчизняних учених, як Е. Макартур, Ф. Вангаус, А. Війкман, К. Сконберг, М. В. Руда, Т. С. Яремчук, Н. І. Горбаль, Ю. Р. Ломага, М. О. Кизим, В. В. Шпілевський [1–7] та ін.

Мета статті полягає у формуванні методичного підґрунтя оцінки відповідності інноваційних паливних матеріалів стратегічним завданням досягнення циркулярної економіки на основі міждисциплінарного підходу.

Визначальною міжнародною політичною ініціативою для України, як кандидату у члени ЄС, є Європейська «зелена» угода, що об'єднує зусилля країн європейської спільноти на досягнення стану справедливої, кліматично-нейтральної, ресурсоефективної та конкурентної економіки. Ключовою складовою Європейської «зеленої» угоди є план з досягнення циркулярної економіки (CEAP), стратегічними цілями якого є досягнення ЄС кліматичної нейтральності до 2050 року і роз'єднання процесів економічного зростання та використання ресурсів [8–10].

Визначальним напрямом досягнення стратегічних цілей Європейської зеленої угоди і CEAP сьогодні є дії, спрямовані на зменшення антропо-

Статтю підготовлено за рахунок грантової підтримки Національного фонду досліджень України в рамках реалізації проекту «Створення виробництва синтетичного рідкого палива з вугілля в Україні в воєнний та повоєнний періоди» (реєстраційний номер 2022.01/0061), що виконується за конкурсом «Наука для відбудови України у воєнний та повоєнний періоди».

генної емісії двоокису вуглецю (CO₂) – декарбонізація господарської діяльності та сфери життєзабезпечення як заходу протидії прискоренню глобального потепління.

Зростання світових обсягів антропогенної емісії CO₂ визначається тенденцією зростання обсягів використання первинної енергії за стабільно високої частки в них органічного палива, яка, за даними [11], у 2021 р. досягла 82,3%.

Співвідношення темпів зростання світових обсягів використання первинної енергії та енергетичної емісії двоокису вуглецю наведено на *рис. 1*.

палива, природні види якого за фізико-хімічними ознаками можна об'єднати у дві групи:

- ✦ вуглевмісне тверде – вугілля, торф, деревина, ін.
- ✦ вуглеводневе – нафта, газові конденсати, природні гази, ін.

Завдяки відносно простим способам видобування, транспортування, використання, високій теплотворній здатності та споживчим якостям вуглеводні є більш затребуваними, ніж інші органічні енергоносії. Значний вміст водню у складі вуглеводнів, окрім високої теплотворної здатності, ви-

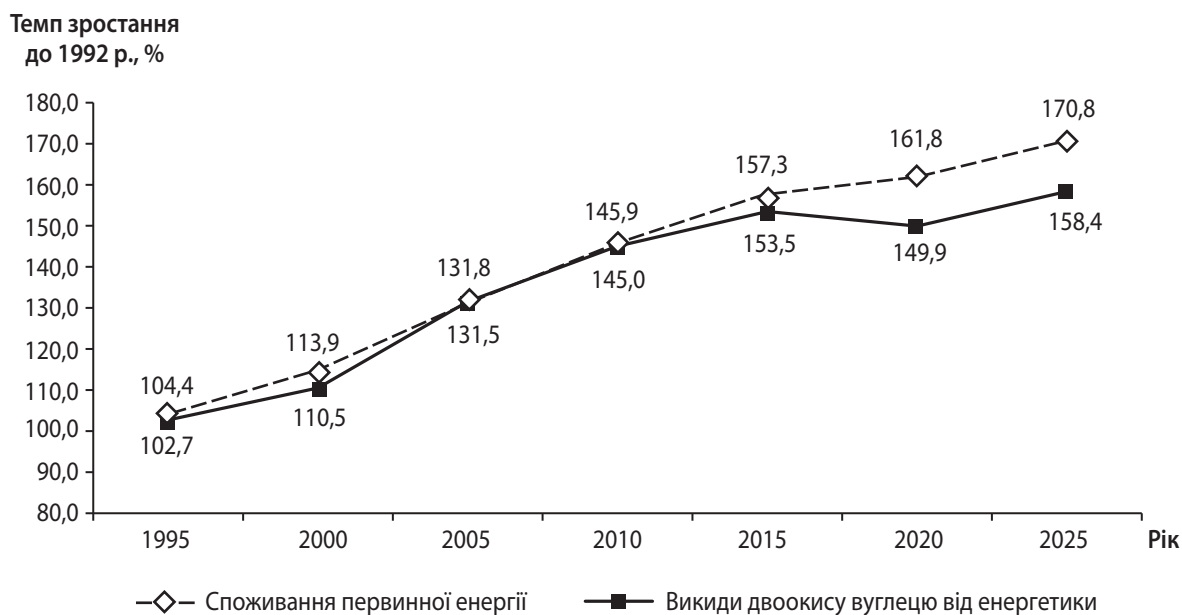


Рис. 1. Співвідношення темпів зростання світових обсягів використання первинної енергії та енергетичної емісії двоокису вуглецю у 2012–2021 рр.

Джерело: складено авторами за даними [11].

Відхилення зростання світових обсягів споживання первинної енергії та енергетичної емісії двоокису вуглецю від загальної тенденції у 1992–2015 рр. не перевищувало 3,5%. Тенденція зростання емісії двоокису вуглецю була порушена зниженням її обсягу у 2020 р. (–2,3% до рівня 2019 р.) і відновилась у 2021 р. (+5,7% до рівня 2019 р.). Причиною цього тимчасового зниження було скорочення обсягів споживання органічного палива, викликане наслідками пандемії COVID-19.

Галузеву структуру глобальних викидів двоокису вуглецю наведено на *рис. 2*.

Наведені на *рис. 2* дані свідчать що 55,4% емісії двоокису вуглецю припадає на промисловість та енергетику, тобто на галузі, в яких перероблення матеріально-енергетичних ресурсів є ключовими виробничими процесами.

Двоокис вуглецю є продуктом окислення вуглецю при спалюванні органічного (вуглевмісного)

значає ще й більш низький рівень емісії двоокису вуглецю при їх спалюванні, що може стати одним із ключових факторів початкового етапу цілеспрямованого формування моделі циркулярної економіки.

Серйозну альтернативу використанню вуглеводів можуть складати продукти газифікації твердого палива, основу яких складає суміш горючих газів – окису вуглецю (CO) і водню (H₂). Сучасні технології газифікації дозволяють переробляти будь-які тверді вуглевмісні речовини, тому в аспекті формування циркулярної економіки в цього методу відкриваються значні перспективи щодо його застосування в паливно-енергетичній сфері. Особливо слід зазначити, що широке застосування газифікації твердих побутових відходів і біомаси дозволить створити високоефективну індустрію кліматично нейтрального газового палива.

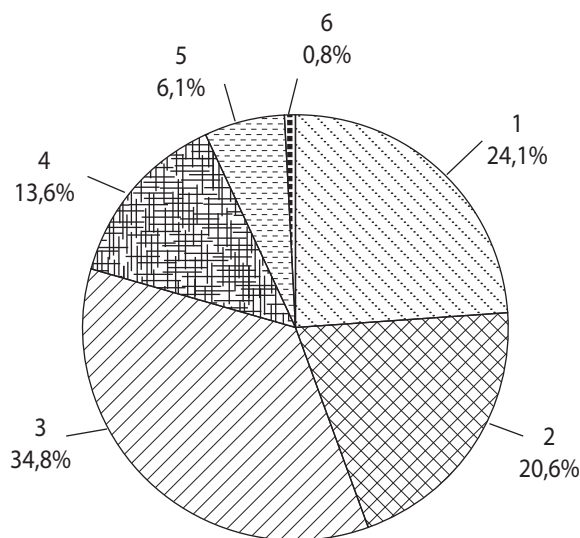


Рис. 2. Галузева структура глобальних викидів двоокису вуглецю

Джерело: складено авторами за даними [9].

Продукти газифікації протягом двохсотрічної еволюції цього способу мали різні назви, з яких сьогодні найбільш часто використовуваними є «генераторний газ», «синтез-газ», «сингаз». Широка варіативність назв обумовлена асоціаціями із способами одержання або призначення продукту. В цій роботі далі використовується назва «сингаз».

Сучасними призначеннями сингазу є виробництво синтетичного рідкого палива і хімічних продуктів, виробництво водню, теплова генерація електричної енергії, використання як пального і побутового палива, ін.

Сингаз поки що є єдиним енергетичним продуктом, маса і теплотворна здатність якого перевищують за величиною аналогічні показники вихідного палива (наприклад вугілля), за рахунок приєднання до суміші газів водню, що є продуктом розкладу води (пари), яка використовується як агент основної хімічної реакції процесу.

Сингаз залежно від специфіки технології одержання має різний склад, ключовою характеристикою якого є вміст горючих газів – CO та H₂, який, окрім хімічних та енергетичних характеристик, визначає і цільове призначення цього продукту.

✦ *По-перше.* Певні технології газифікації забезпечують одержання сингазу з високим вмістом водню – хімічної речовини з найвищою теплотворною здатністю її маси. По суті сингаз з високим вмістом водню набуває ознак водневого палива, що забезпечує

його високу теплотворну здатність та зниження обсягів емісії CO₂ при спалюванні.

✦ *По-друге.* Певні технології газифікації передбачають використання в реакції газифікації вугілля CO₂ як основного реакційного агента, тобто додаткової вуглецевої сировини. Ці види газифікації можуть застосовуватись для утилізації CO₂ в енергетичних системах, що суттєво наблизить їх характеристики фінішного продукту до екологічно нейтральних.

Значна варіативність технологій газифікації сьогодні визначає проблему вибору конкретної технології, сумісної зі стратегічними цілями циркулярної економіки. Зважаючи на це, загальними критеріями вибору мають стати характеристики ресурсоефективності технології та впливу від використання її продуктів на довкілля. Ці характеристики мають бути за величинами достатніми для створення передумов формування моделі циркулярної економіки при зростанні рівня виробничої ефективності.

Основними ідентифікаційними показниками технологій газифікації, з урахуванням галузевої специфіки, в роботі використано такі показники:

- ✦ вихід горючих газів на одиницю приведених витрат ресурсів, т/т;
- ✦ емісія двоокису вуглецю при спалюванні 1 куб. м сингазу, кг.

Сучасні методики вибору перспективних технологій найчастіше базуються на двох підходах – інженерному або економічному. Як правило, перший із підходів використовує порівняльну оцінку ключових технічних характеристик з наступним вибором за її результатами перспективної технології, а другий заснований на оцінці очікуваного економічного ефекту від впровадження новації. Однак ідеологія нової концепції висуває нові оцінні критерії. Замість традиційної орієнтації на забезпечення технічних або економічних переваг концепція циркулярної економіки ставить задачу щодо обмеження споживання матеріальних ресурсів та зменшення негативного техногенного впливу на навколишнє середовище. Нове бачення економічного розвитку обумовлює необхідність створення нового методичного забезпечення вирішення поставлених завдань.

Основною метою реалізації концепції циркулярної економіки є створення замкнутого антропогенного ресурсного циклу, і це визначає, що методика ідентифікації перспективної технологічної новації, в умовах нової моделі економіки [12–15], має розглядати всю сукупність задіяних в обороті ресурсів, а не окремих її характеристик або очікуваних економічних результатів.

Для розв'язання охарактеризованих вище методичних завдань в основу методики ідентифікації новацій для сфери енергоперетворення закладено балансовий і ресурсний підходи.

Застосування цих підходів дозволило розглянути всю сукупність ресурсів певного процесу енергоперетворення та за одержаними результатами визначити його основні техніко-економічні характеристики.

Для забезпечення коректності порівнянь методика передбачає застосування виміру величин ресурсів у єдиних (універсальних) фізичних одиницях – тоннах.

Структуру порівняльного матеріального балансу газифікації вугілля для сукупності інноваційних технологій розроблено відповідно до наведеної нижче формули (1):

$$A_o = \sum_{i=1}^n m_r = \sum_{i=1}^k m_p + \sum_{i=1}^k m_l + \sum_{i=1}^k m_e + \sum_{i=1}^k m_w, \quad (1)$$

де A_o – операційні витрати ресурсів на газифікацію;

n – кількість видів ресурсів;

m_r – вхід певного виду матеріального ресурсу;

k – кількість видів продуктів конверсії;

m_p – маса цільових і супутніх продуктів;

m_l – маса матеріальних технологічних втрат (витоків);

m_e – маса викидів в навколишнє середовище парникового газу (двоокису вуглецю);

m_w – маса інших безповоротних відходів.

Порівняльний матеріальний баланс газифікації вугілля сукупності інноваційних технологій розроблено на основі вихідних даних, взятих із [14; 15], і наведено в *табл. 1*.

Дані матеріального балансу свідчать про суттєві розбіжності в ресурсоемності процесів перетворення вугілля на сингаз, що є передумовою виникнення розбіжностей і в їх ефективності.

Приведений баланс є інформаційною базою порівняльної оцінки ефективності використання продуктів ресурсоперетворення, впливу на навколишнє середовище від використання виробленого продукту, але не є достатнім для оцінки ефективності самих технологій, оскільки не відображає «довгі» ресурси обороту основних засобів – знос основних засобів.

З метою усунення згаданого вище недоліку оцінки ефективності технологій газифікації проведено за методом приведення витрат ресурсів на створення основних засобів до певного періоду в спосіб, передбачений формулою (2):

$$A_c = \sum_{i=1}^q m_c / t, \quad (2)$$

де m_c – маса основних засобів, т;

t – термін використання основного засобу, років;

q – кількість певного виду основних засобів, од.

Таким чином, приведена величина витрат ресурсів має розраховуватись за формулою (3):

$$A_p = A_o + A_c, \quad (3)$$

де A_p – операційні витрати матеріально-енергетичних ресурсів на газифікацію, т;

A_c – умовний знос маси основних засобів на річний обсяг газифікації, т.

Розрахунок приведених витрат на процес газифікації наведено в *табл. 2*.

Техногенний вплив на навколишнє середовище від газифікації вугілля визначається величиною викидів в атмосферу CO_2 від спалювання сингазу. Цю величину розраховано на основі показників хімічної кількості вуглецевої речовин у складі вихідного продукту і молярної маси емісії CO_2 .

Дані щодо технологічної ефективності газифікації і впливу використання її продуктів на природне середовище наведено в *табл. 3*.

Для ідентифікації технологій газифікації використано матричний метод. Матрицю вибору толерантних до умов циркулярної економіки технологій складено за даними *табл. 3* і наведено на *рис. 3*.

Наведені на *рис. 3* дані підтверджують розглянуті вище теоретичні положення цієї роботи

Порівняльний матеріально-енергетичний баланс інноваційних технологій газифікації вугілля

Вхід матеріально-енергетичних ресурсів на газифікацію									
№ з/п	Основна ознака (способу) технології газифікації	Вугілля	Реакційні агенти				Технологічна електроенергія у вугільному еквіваленті	Усього	
			N ₂ (азот)	O ₂ (кисень)	CO ₂ (двоокис вуглецю)	H ₂ O (водяна пара)			
	<i>Плазмова</i>								
1	Повітряна	1,000	2,567	0,767	0,000	0,000	0,447	4,780	
2	Паровуглекислотна	1,000	0,000	0,000	1,056	0,444	0,481	2,981	
3	Вуглекислотна	1,000	0,000	0,000	2,139	0,000	0,580	3,719	
4	Парова	1,000	0,000	0,000	0,000	0,861	0,375	2,236	
5	Пароповітряна	1,000	1,111	0,332	0,000	0,444	0,375	3,263	
6	Парокиснева	1,000	0,036	0,331	0,000	0,444	0,215	2,026	
7	Киснева	1,000	0,086	0,767	0,000	0,000	0,017	1,870	
	<i>Термохімічна</i>								
8	Lurgi	1,000		0,500		1,900		3,400	
9	Winkler	1,000		0,500		0,880		2,380	
10	Koppers-Totzek	1,000		0,760		0,240		2,000	
11	Texaco	1,000		0,850		0,300		2,150	
Вихід продуктів газифікації									
№ з/п	Основна ознака (способу) технології газифікації	Усього сингазу	У тому числі за речовинами:					Викиди та відходи виробництва	Усього
			CO (окис вуглецю)	H ₂ (водень)	N ₂ (азот)	CH ₄ (метан)	CO ₂ (двоокис вуглецю)		
	<i>Плазмова</i>								
1	Повітряна	1,784	0,041	0,074	0,000	0,000	2,881	4,780	1,784
2	Паровуглекислотна	2,456	0,101	0,000	0,000	0,000	0,424	2,981	2,456
3	Вуглекислотна	3,145	0,043	0,000	0,000	0,000	0,530	3,719	3,145
4	Парова	1,784	0,156	0,000	0,000	0,000	0,296	2,236	1,784
5	Пароповітряна	1,784	0,107	0,086	0,000	0,000	1,286	3,263	1,784
6	Парокиснева	1,784	0,103	0,003	0,000	0,000	0,136	2,026	1,784
7	Киснева	1,784	0,045	0,003	0,000	0,000	0,038	1,870	1,784
	<i>Термохімічна</i>								
8	Lurgi	1,784	0,296	0,018	0,007	0,019	1,276	3,400	1,784
9	Winkler	1,784	0,161	0,005	0,000	0,000	0,430	2,380	1,784
10	Koppers-Totzek	1,784	0,087	0,006	0,000	0,000	0,123	2,000	1,784
11	Texaco	1,784	0,084	0,000	0,000	0,000	0,282	2,150	1,784

Джерело: авторська розробка на основі вихідних даних з [14; 15].

Розрахунок приведених витрат на газифікацію вугілля

№ з/п	Основна ознака технології газифікації	Поточні витрати матеріальних ресурсів, т/т	Знос технологічного обладнання на виробництво сингазу, кг/т	Приведена величина витрат ресурсів, т/т
	<i>Плазмова</i>			
1	Повітряна	4,780	1,141	4,781
2	Паровуглекислотна	2,981	1,845	2,983
3	Вуглекислотна	3,719	2,057	3,721
4	Парова	2,236	0,621	2,237
5	Пароповітряна	3,263	0,889	3,264
6	Парокиснева	2,026	0,735	2,027
7	Киснева	1,870	0,934	1,871
	<i>Термохімічна</i>			
8	Lurgi	3,400	0,985	3,401
9	Winkler	2,380	0,935	2,381
10	Koppers-Totzek, Prenflo	2,000	0,942	2,001
11	Texaco	2,150	0,919	2,151

Джерело: авторська розробка.

Таблиця 3

Вихідні дані до ідентифікації технологій газифікації вугілля, що відповідають положенням концепції циркулярної економіки

№ з/п	Основна ознака технології газифікації	Вихід горючих газів з 1 тонни приведених витрат ресурсів, т	Маса викидів CO ₂ при спалюванні сингазу, кг/куб. м
	<i>Плазмова</i>		
1	Повітряна	0,382	0,598
2	Паровуглекислотна	0,857	1,168
3	Вуглекислотна	0,857	1,515
4	Парова	0,867	0,828
5	Пароповітряна	0,579	0,708
6	Парокиснева	0,931	1,003
7	Киснева	0,978	1,302
	<i>Термохімічна</i>		
8	Lurgi	0,614	0,322
9	Winkler	0,817	0,627
10	Koppers-Totzek, Prenflo	0,935	0,895
11	Texaco	0,869	0,985

Джерело: авторська розробка.

та дозволяють констатувати, що з 11 розглянутих технологій, які декларуються як інноваційні, тільки 3 відповідають вимогам концепції циркулярної економіки, а саме: термохімічні парокисневі Koppers-Totzek (Prenflo) та Texaco, що мають значний термін промислової експлуатації, а також плазмо-парова на стадії пілотного проекту. Цей

факт свідчить, що понад 70% сучасних інженерних рішень ще не в змозі відповісти вимогам, які висуває концепція циркулярної економіки.

ВИСНОВКИ

Визначальна перевага продуктів газифікації над твердим паливом забезпечується конверсією

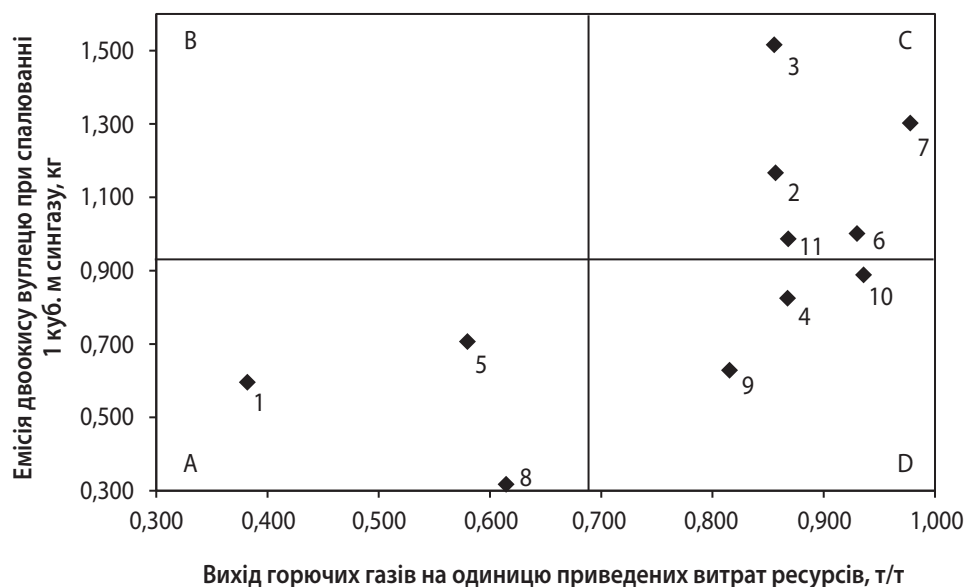


Рис. 3. Матриця вибору толерантних до вимог концепції циркулярної економіки технологій газифікації твердого палива

Примітка: нумерація технологій відповідає наведеній у табл. 3

Джерело: авторська розробка.

вуглецю в оксид вуглецю (горючий газ) і відтворення з води водню в процесі газифікації. Одержання в такий спосіб і енергетичне використання сингазу визначає такі економіко-екологічні ефекти:

- ✦ заміщення в газоподібних продуктах згоряння значної частки екологічно агресивного CO₂ на екологічно нейтральну водяну пару, що сприяє послабленню парникового ефекту, а отже, і уповільненню глобального потепління;
- ✦ заміна твердого палива на газове, якому притаманні більш високі споживчі властивості;
- ✦ зростання ресурсоефективності генерації енергії та відносне зменшення обсягів енергетичного використання мінерального палива завдяки підвищенню частки водню в складі паливних матеріалів;
- ✦ можливість виробництва кліматично-нейтрального газового палива з твердих побутових відходів і біомаси;
- ✦ інші переваги над твердим вуглевмісним паливом.

Усі перелічені вище економіко-екологічні ефекти мають бути враховані при проектуванні виробництв з газифікації твердих паливних ресурсів і оцінці економічної доцільності їх створення. ■

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Rezaie S. et al. Accelerating the transition to a circular economy through impactful and actionable

research. Stockholm Environment Institute. 2022. DOI: <http://doi.org/10.51414/sei2022.008>

2. Війкман А., Сконберг К. Циркулярна економіка та переваги для суспільства. Звіт про дослідження на вимогу Римського клубу за підтримки Фонду MAVA. URL: http://www.clubofrome.org.ua/wp-content/uploads/2017/08/The-Circular-Economy-CoR_UA-2.pdf
3. Руда М. В., Яремчук Т. С., Бортнікова М. Г. Циркулярна економіка в Україні: адаптація європейського досвіду. *Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення і проблеми розвитку*. 2021. Вип. 3. № 1. С. 212–222. DOI: <https://doi.org/10.23939/smeu2021.01.212>
4. Горбаль Н. І., Ломага Ю. Р. Циркулярна економіка – основа сталого розвитку підприємств. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Серія «Проблеми економіки та управління». 2022. Т. 6. № 1. DOI: <http://doi.org/10.23939/semi2022.01.009>
5. Кизим М. О., Хаустова В. Є., Шпілевський В. В., Шпілевський О. В. Обґрунтування перспективних напрямів розвитку циркулярної економіки в Україні. *Проблеми економіки*. 2023. № 3. С. 101–111. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2023-3-101-111>
6. Khaustova V., Hubarieva I., Kostenko D. et al. Rationale for the Creation and Characteristics of the National High-Tech Production of Motor Biofuel. *Systems, Decision and Control in Energy V. Studies in Systems, Decision and Control*. Springer, Cham, 2023. Vol. 481. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7_31

7. Теоретико-прикладні аспекти декарбонізації та розвитку розподіленої електроенергетики України : монографія / за ред. М. О. Кизима. Харків : ФОРМ Лібуркіна Л. М., 2020. 344 с.
8. A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe. *EUR-Lex*. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2020%3A98%3AFIN>
9. Циркулярна економіка. Пландій. Circular Economy Action Plan (CEAP). UNDP. URL: https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-08/2%20FINAL_Tree_Circular_economy_action_plan_297x210mm_4%2B4_web_180822.pdf
10. Accelerating investment for a net zero economy. Investor Group on Climate Change 2022. URL: <https://igcc.org.au/regenerate-restore-circular-economy-discussion-paper-for-investors-released-today/>
11. Statistical Review of World Energy 2022. 71st edition. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf>
12. Towards the Circular Economy / Ellen MacArthur Foundation. 2021. URL: <https://www.aquafil.com/assets/uploads/ellen-macarthur-foundation.pdf>
13. Geissdoerfer M., Savaget P., Bocken N. M. P., Hultink E. J. The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 143. P. 757–768. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
14. Мессерле В., Умбеткалиев К., Устименко А. Плазменная газификация угля в различных средах. *Горение и плазмохимия*. 2022. Т. 20. № 3. С. 219–227. DOI: <https://doi.org/10.18321/cpc549>
15. Coal Gasifier Gas Supply Manufacturing Producer of Metallurgy Machinery. Connecting Buyers with Chinese Suppliers, 2023. URL: <https://shanghaiprimeme.en.made-in-china.com/product/CxrRhWfdHVkU/China-Coal-Gasifier-Gas-Supply-Manufacturing-Producer-of-Metallurgy-Machinery.html>

REFERENCES

- “A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe”. *EUR-Lex*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2020%3A98%3AFIN>
- “Accelerating investment for a net zero economy”. Investor Group on Climate Change 2022. <https://igcc.org.au/regenerate-restore-circular-economy-discussion-paper-for-investors-released-today/>
- “Coal Gasifier Gas Supply Manufacturing Producer of Metallurgy Machinery”. *Connecting Buyers with Chinese Suppliers*, 2023. <https://shanghaiprimeme.en.made-in-china.com/product/CxrRhWfdHVkU/China-Coal-Gasifier-Gas-Supply-Manufacturing-Producer-of-Metallurgy-Machinery.html>
- Geissdoerfer, M. et al. “The Circular Economy – A new sustainability paradigm?” *Journal of Cleaner Production*, vol. 143 (2017): 757-768. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Horbal, N. I., and Lomaha, Yu. R. “Tsyrukuliarna ekonomika – osnova staloho rozvytku pidprijemstv” [Circular

- lar Economy - the Basis of Sustainable Enterprise Development]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika». Seriya «Problemy ekonomiky ta upravlinnia»*, vol. 6, no. 1 (2022). DOI: <http://doi.org/10.23939/semi2022.01.009>
- Khaustova, V. et al. “Rationale for the Creation and Characteristics of the National High-Tech Production of Motor Biofuel. *Systems, Decision and Control in Energy V”*. *Studies in Systems, Decision and Control*, vol. 481. Springer, Cham, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7_31
- Kyzym, M. O. et al. “Obgruntuvannia perspektyvnykh napriamiv rozvytku tsyrkuliarnoi ekonomiky v Ukraini” [A Substantiation of Promising Directions for the Development of Circular Economy in Ukraine]. *Problemy ekonomiky*, no. 3 (2023): 101-111. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2023-3-101-111>
- Messerle, V., Umbetkaliyev, K., and Ustimenko, A. “Plazmennaya gazifikatsiya uglya v razlichnykh sredakh” [Plasma Gasification of Coal in Various Media]. *Goreniye i plazmokhimiya*, vol. 20, no. 3 (2022): 219-227. DOI: <https://doi.org/10.18321/cpc549>
- Rezaie, S. et al. *Accelerating the transition to a circular economy through impactful and actionable research*. Stockholm Environment Institute, 2022. DOI: <http://doi.org/10.51414/sei2022.008>
- Ruda, M. V., Yaremchuk, T. S., and Bortnikova, M. H. “Tsyrukuliarna ekonomika v Ukraini: adaptatsiia yevropeiskoho dosvidu” [Circular Economy in Ukraine: Adaptation of European Experience]. *Menedzhment ta pidprijemnytstvo v Ukraini: etapy stanovlennia i problemy rozvytku*, vol. 3, no. 1 (2021): 212-222. DOI: <https://doi.org/10.23939/smeu2021.01.212>
- “Statistical Review of World Energy 2022”. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf>
- “Towards the Circular Economy”. *Ellen MacArthur Foundation*. 2021. <https://www.aquafil.com/assets/uploads/ellen-macarthur-foundation.pdf>
- “Tsyrukuliarna ekonomika. Plan dii. Circular Economy Action Plan (CEAP)” [Circular Economy. Action Plan. Circular Economy Action Plan (CEAP)]. UNDP. https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-08/2%20FINAL_Tree_Circular_economy_action_plan_297x210mm_4%2B4_web_180822.pdf
- Teoretyko-prykladni aspekty dekarbonizatsii ta rozvytku rozpodilenoї elektroenerhetyky Ukrainy* [Theoretical and Applied Aspects of Decarbonization and Development of Distributed Electric Power Industry of Ukraine]. Kharkiv: FOP Liburkina L. M., 2020.
- Viikman, A., and Skonberh, K. “Tsyrukuliarna ekonomika ta perevahy dia suspilstva. Zvit pro doslidzhennia na vymohu Rym'skoho klubu za pidtrymky Fondu MAVa” [Circular Economy and Benefits for Society. Research Report Commissioned by the Club of Rome and Supported by the MAVa Foundation]. <http://www.clubofrome.org.ua/wp-content/uploads/2017/08/The-Circular-Economy-CoR-UA-2.pdf>